

3 21

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-288386

(43)Date of publication of application : 04.10.2002

(51)Int.Cl.

G06F 17/60

G06F 19/00

(21)Application number : 2001-093054

(71)Applicant : NATIONAL MARITIME RESEARCH  
INSTITUTE

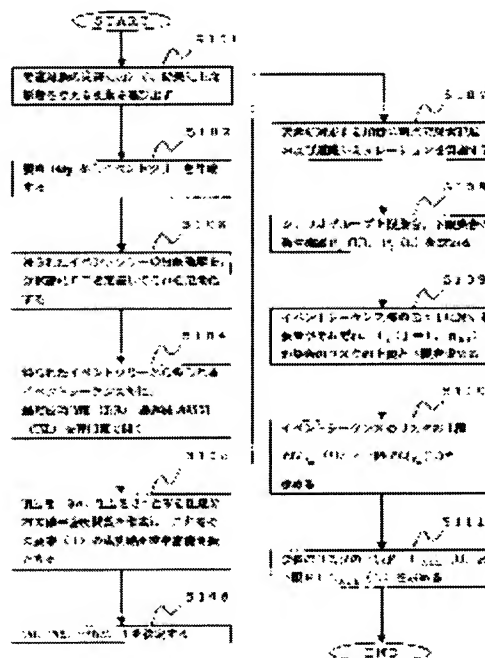
(22)Date of filing : 28.03.2001

(72)Inventor : KANEKO FUJIO

**(54) RISK EVALUATION METHOD FOR SHIP DISASTER****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a risk evaluation method for ship disasters with high practicality by which the number of disaster development scenarios for performing the simulation of result analysis, is reduced, and yet the certainty of the estimation of life loss is enhanced.

**SOLUTION:** In this risk evaluation method for ship disasters to be used for risk evaluation when evaluating the safety of a ship probabilistically, an event tree is prepared for elements having any influence on results in events which are likely to happen in disasters to be evaluated (S101), and the probability density function of a successful time for disaster suppressing countermeasures is prepared for each event sequence obtained from the event tree (S105), and the elements for classification by case leading to the complication of the event tree are taken out of the event tree (S106). Then, disaster development simulation and evacuation simulation is carried out based on the probability density function (S107). Moreover, the upper limit and lower limit of the risk of each event sequence is calculated based on each simulation result (S110), and the upper limit and lower limit of the whole disaster risks can be calculated from each of the limits of the risk (S111).



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-288386

(P2002-288386A)

(43) 公開日 平成14年10月4日 (2002. 10. 4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ターマコード* (参考)
G 0 6 F 17/60	1 5 0	C 0 6 F 17/60	1 5 0
19/00	1 1 0	19/00	1 1 0

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2001-93054(P2001-93054)

(22) 出願日 平成13年3月28日 (2001. 3. 28)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成12年11月16日～17日 社団法人日本造船学会主催の「平成12年度秋季造船三学会連合大会」において文書をもって発表

(71) 出願人 501204525

独立行政法人 海上技術安全研究所  
東京都三鷹市新川6丁目38番1号

(72) 発明者 金湖 富士夫

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国土交通省船舶技術研究所内

(74) 代理人 100071515

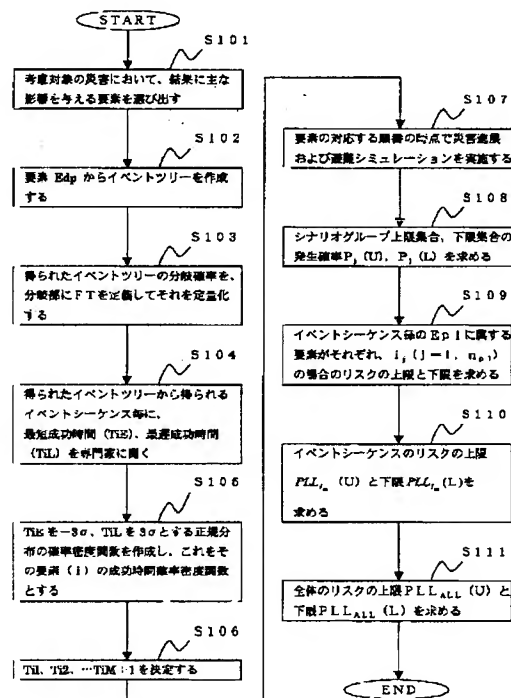
弁理士 三宅 景介

(54) 【発明の名称】 船舶災害のリスク評価方法

(57) 【要約】

【課題】 結果解析のシミュレーションを実施するための災害進展シナリオの数を削減しながら人命損失の推定精度を向上可能な実用性の高い船舶災害のリスク評価方法を得る。

【解決手段】 船舶の安全性を確率論的に評価する際のリスク評価に用いられる船舶災害のリスク評価方法であって、評価対象の災害で想起されるイベントの中で結果に影響を与える要素に対してイベントツリーを作成し (S101)、このイベントツリーから得られたイベントシーケンス毎に災害抑止対策に対する成功時間の確率密度関数を作成するとともに (S105)、イベントツリーを複雑にする場合分けの要素をイベントツリーの外に出す (S106)。そして、確率密度関数に基づいて災害進展のシミュレーション及び避難シミュレーションを実行する (S107)。さらに、前記各シミュレーションの結果を基に各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め (S110)、その各々の値から全体の災害リスクの上限と下限を求める (S111) ことによりリスクを評価する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 船舶の安全性を確率論的に評価する際のリスク評価に用いられる船舶災害のリスク評価方法において、評価対象の災害で想起されるイベントの中で結果に直接影響を与える要素で、かつ互いの成功と失敗に影響を与える要素のみに対してイベントツリーを作成し、前記イベントツリーから得られたイベントシーケンス毎に災害抑止対策に対する成功時間の確率密度関数を作成するとともに、得られたすべてのシーケンスに同様の分岐をもたしてイベントツリーを複雑にする場合分けの要素をイベントツリーの外に出し、それらの要素の組合せ毎に、前記確率密度関数に基づいて災害進展のシミュレーション及び避難シミュレーションを実行し、前記各シミュレーションの結果をもとに各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め、その各々の値から全体の災害リスクの上限と下限を求めることによりリスクを評価することを特徴とする船舶災害のリスク評価方法。

【請求項2】 前記成功時間の確率密度関数は、既知の

$$P_j(U) = \sum_{k=1}^N \sum_{I_k} \prod_{i \in I_k} p_i(j) \prod_{m \in I_k} \sum_{l=1}^{j-1} p_m(l)$$

【数2】

$$P_j(L) = \sum_{k=1}^N \sum_{I_k} \prod_{i \in I_k} p_i(j) \prod_{m \in I_k} \sum_{l=j+1}^M p_m(l)$$

(前記各式中、 $I_k$ は(1、2、…、N)からk個を取った数字の組合せから構成される集合(Nは成功イベントの総数)、 $i \in I_k$ は $I_k$ に含まれるk個の数字の組合せの任意の要素( $i \in I_k$ )、 $\bar{i} \in I_k$ は $i \in I_k$ 以外の(1、2、…、N)内の数字の組合せを表わす。)

【請求項5】 前記各イベントシーケンス(ies)に対して場合分けの要素からなる集合(Epl)に属する要素の組合せ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_p}$ )毎にリスク(PLL)の上限と下限(L)を下記の各式により求め

最短成功時間と最遅成功時間に基づいて正規分布等の確率密度関数を生じることにより得ることを特徴とする請求項1記載の船舶災害のリスク評価方法。

【請求項3】 前記各イベントシーケンスのリスクの上限と下限は、イベントシーケンス毎のシミュレーションから得られた人命損失数に基づいて、各イベント内の成功時間を複数に分割して得られる小区間よりなるイベント内グループの1つをもとに構成されたシナリオグループの上限集合と下限集合の発生確率をシナリオ上限集合発生確率及びシナリオ下限集合発生確率として求め、このシナリオ上限集合発生確率及びシナリオ下限集合発生確率に基づいて算出することを特徴とする請求項1又は2記載の船舶災害のリスク評価方法。

【請求項4】 前記シナリオ上限集合発生確率( $P_j(U)$ )及び前記シナリオ下限集合発生確率( $P_j(L)$ )を下記の各式により求めることを特徴とする請求項3記載の船舶災害のリスク評価方法。

【数1】

ることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の船舶災害のリスク評価方法。

【数3】

$$PLL_{ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(U) = \sum_{j=1}^M P_j(U) \cdot N_{FT ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(j+1)$$

【数4】

$$PLL_{ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(L) = \sum_{j=1}^M P_j(L) \cdot N_{FT ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(M+1-j)$$

(前記各式中、 $N_{FT ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(j)$ はイベントシーケンスがiesで、Eplに属している要素がそれぞれ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_p}$ )の値をとった場合におけるj番目のシミュレーションでの死者数である。)

【請求項6】 前記場合分け毎のリスクの上限と下限から各イベントシーケンスのリスクの上限( $PLL_{ies}(U)$ )と下限( $PLL_{ies}(L)$ )を下記の各式に

より求めることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の船舶災害のリスク評価方法。

【数5】

$$PLL_{I_{es}}(U) = \sum_{i_1=1}^{m(1)} \sum_{i_2=1}^{m(2)} \cdots \sum_{i_{n_{pt}}=1}^{m(n_{pt})} p_{i_1} p_{i_2} \cdots p_{i_{n_{pt}}} = PLL_{I_{es}(i_1, i_2, \dots, i_{n_{pt}})}(U)$$

【数6】

$$PLL_{I_{es}}(L) = \sum_{i_1=1}^{m(1)} \sum_{i_2=1}^{m(2)} \cdots \sum_{i_{n_{pt}}=1}^{m(n_{pt})} p_{i_1} p_{i_2} \cdots p_{i_{n_{pt}}} \cdot PLL_{I_{es}(i_1, i_2, \dots, i_{n_{pt}})}(L)$$

【請求項7】 前記全体の災害リスクの上限（ $PLL_{ALL}(U)$ ）と下限（ $PLL_{ALL}(L)$ ）を下記の各式により求めることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の船舶災害のリスク評価方法。

【数7】

$$PLL_{ALL}(U) = \sum_{I_{es}=1}^{N_{es}} p_{I_{es}} \cdot PLL_{I_{es}}(U)$$

（式中、 $PLL_{I_{es}}(U)$  はイベントシーケンスが  $I_{es}$  のリスクの上限を表す。）

【数8】

$$PLL_{ALL}(L) = \sum_{I_{es}=1}^{N_{es}} p_{I_{es}} \cdot PLL_{I_{es}}(L)$$

（式中、 $PLL_{I_{es}}(L)$  はイベントシーケンスが  $I_{es}$  の下限を表す。）

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、船舶災害のリスク評価方法、特に、火災、浸水等の災害進展を推定するシミュレーションを行い、この結果を用いて避難シミュレーション等を行うに際し、災害進展シナリオのシミュレーション結果を反映させてリスクを評価する船舶災害のリスク評価方法に関する。

【0002】

【従来の技術】船舶においては、例えば、洋上で万一火災が発生した場合、逃げ場が無く、極めて危険な状態になる。したがって、火災に至らないような対策、或いは発生した場合でも最小限に食い止められるような対策が必要になる。そこで、国際的な場において船舶の安全基準が定められている。しかし、あらゆる状態を想定して策定した安全基準であっても、予期せぬ大事故が起こることもある。そこで、安全基準をより確かにするため、

実際に起きた大事故を契機に安全基準の改正が行われている。改正の都度、船舶には新安全基準に基づいて多くの付加的設備の設置や構造の強化が行われてきた。しかしながら、それらの有効性は科学的に立証されているとは言えず、安全のための過大な投資がなされていたり、効果のない設備等が搭載されている可能性もあり、これにより船舶のコストを増大させているのではないかと危惧が関係者間に存在している。

【0003】一方、原子力分野で標準的な安全評価手法とされている確率論的安全評価法（PSA：Probabilistic Safety Assessment、或いはPRA：Probabilistic Risk Assessmentとも呼ばれる）は、化学プラントの安全性の評価など、他の分野にも応用され始めており、安全性を科学的に評価するための優れた手法と見なされている。

【0004】以上の状況を考慮し、1993年のIMO（International Maritime Organization：国際海事機関）/MSC（Maritime Safety Committee：海上安全委員会）62において、船舶の安全性を確率論的安全評価手法を用いて「リスク」という数値で表現し、安全を確保するための種々の基準を設定した場合のコストの評価と共に、その基準の有効性を審議する際に役立てようとの考えが英国により表明された。そのための評価手法は、FSA（Formal Safety Assessment）と称されている。その後、IMO/MSCにおいて、そのためのコレスポンデンスグループ及びワーキンググループが構成されて検討が継続され、IMO/MSC68においてFSAの暫定ガイドラインが承認され、それに基づいて各国がFSAの試適用の実施を開始し、日本においても、社団法人日本造船研究協会に基準研究部会を設置し、FSAを実現する手法の開発が進められている。下記の（表1）はFSAの概略を示している。

【0005】

【表1】

(表1)

段 階	段 階 名	概 要
ステップ1	ハザード同定	事故に至る考慮すべき種々の危険性（ハザード）を特定する。
ステップ2	リスク評価	ハザードから、事故の生じる確率、事故後の災害進展の推定、及びそれらの災害進展が生じる確率、各災害進展が生じた場合の結果の重大性（人命損失数、環境汚染、財産の喪失等）を求めることにより、船舶に種々の形態の事故が生じた場合のリスクを求める。
ステップ3	リスク制御 オプション (RCO)	船舶のリスクを減少させる種々の手段（リスク制御オプション）を考慮し、それらを導入した場合のリスクの減少を推定する。
ステップ4	費用対効果の評価	種々のリスク制御オプションを実現するためのコストを評価し、ステップ3と合わせてリスク制御手段の妥当性を評価する。
ステップ5	意思決定のための勧告	ステップ4までの結果から、有効と思われる基準の絞り込みを行い、審議のための勧告を行う。

【0006】FSAは、前記（表1）に示すステップ1～ステップ5の5段階の手続からなる安全基準の審議方法である。FSAとは、RCO（Risk Control Option：安全対策）の効果をリスクで定量的に表し、RCOを設置（又は実施）するために必要になる複数の関係者に付加されるコストを加味し、最適なRCOを選定及び基準化するための手続を指している。

【0007】FSAにおいて、困難、かつ最重要な段階は、ステップ3のRCOによるリスクの変化を含むステップ2のリスク評価である。リスクは、事故発生確率と、その後の結果の重大性との積の概念であり、それを求めるには、事故に繋がる危険性から事故に至る確率を求め、次に、事故発生後に生じる種々の災害の進展過程、及びそれらの確率、さらに避難・救助による救出過程を推定して結果の重大性を評価することにより推定される。

【0008】すなわち、ステップ2では、事故に至る過

程を示すフォールトツリー、事故発生から最終結果（人命損失、環境汚染、財産の喪失等）までのイベントツリー、及びイベントツリーの各最終端が示す結果の定量化を行うことにより、リスクを定量化する。現状のリスクは、既に使用可能な事故統計があるため、それらの解析結果から得られる。

【0009】RCOは、危険な状況の発生から事故発生に至る過程、さらに、事故発生から最終状態に至る過程における種々の部分に影響を与えることによりリスクを変化させる。その効果は、実施する前の段階では事故統計に現れないため、それ以外の何らかの方法で予測しなければならない。英国によるFSAの試適用では、専門家の判断をRCOの効果の推定に用い、専門家の判断からリスクの変化を求める図（RID：Regulatory Impact Diagram）を作成し、実施している。この方法は簡便であり、広範な分野のRCOに適用可能である。しかし、恣意的であり、不確実性が高いとの指摘がIMOに

においても出されている。そこで、本発明者らは、日本造船学会論文集、V o 1. 186 (6-3)「船舶の確率論的安全評価手法」において、人間の判断のみに依存せず、恣意性の少ないリスク評価手法を既に発表している。

【0010】この論文においては、FSAの実現のため、事故発生からその結果に至る過程の分析に基づいて開発したリスク評価の方法論、及びこの方法論に基づき開発したリスク評価システムが示されており、リスク評価の例題として、同システムを適用して実施した火災拡大防止のためのリスク制御手段であるスプリングラの評価が示されている。ここでは、船舶事故時の災害による人命損失の推定法として、火災、浸水等の災害進展を推定するシミュレーション及びその結果を用いた避難シミュレーションを行っている。この方法は、RCOが設計変更として自然な形でシミュレーションに反映され、恣意性が少ないという利点がある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前記のような従来のリスク評価方法によると、膨大な災害進展シナリオ（或るイベントシーケンスに従ってシミュレーションを実施した結果の船舶の種々の状態量の時系列をいう）の全てにわたってシミュレーションを実施する必要がある、実用的ではなく、更なる検討が要望されている。又、船舶の事故においては主に船舶の乗員、乗客の生死が問題であり、火災は、避難の速度とほぼ同じ速さで進展するため、少しのタイミングの違いで死者数が大幅に変化することが予想される。したがって、シミュレーションによる人命損失の推定には、消火、防火手段の成功／失敗の確率だけでなく、成功する場合の成功までの時間が問題になるが、従来においては、この点について何ら考慮されておらず、人命損失の推定精度の向上に限界がある。

【0012】そこで、本発明の目的は、前記のような従来の問題を解決しようとするものであって、結果解析のシミュレーションを実施するための災害進展シナリオの数を削減しながら人命損失の推定精度を向上させることができ、実用性の高い船舶災害のリスク評価方法を提供するにある。

【0018】

【0013】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の船舶災害のリスク評価方法は、船舶の安全性を確率論的に評価する際のリスク評価に用いられる船舶災害のリスク評価方法において、評価対象の災害で想起されるイベントの中で結果に直接影響を与える要素で、かつ互いに成功と失敗に影響を与える要素のみに対してイベントツリーを作成し、前記イベントツリーから得られたイベントシーケンス毎に災害抑止対策に対する成功時間の確率密度関数を作成するとともに、得られたすべてのシーケンスに同様の分岐をもたらしイベントツリーを複雑にする場合分けの要素をイベントツリーの外に出し、それらの要素の組合せ毎に、前記確率密度関数に基づいて災害進展のシミュレーション及び避難シミュレーションを実行し、前記各シミュレーションの結果を基に各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め、その各々の値から全体の災害リスクの上限と下限を求めることによりリスクを評価するようにしたものである。

【0014】前記成功時間の確率密度関数については、既知の最短成功時間と最遅成功時間に基づいて正規分布等の確率密度関数を生成することにより得ることができる。

【0015】前記各イベントシーケンスのリスクの上限と下限については、イベントシーケンス毎のシミュレーションから得られた人命損失数に基づいて、各イベント内の成功時間を複数に分割して得られる小区間よりなるイベント内グループの1つをもとに構成されたシナリオグループの上限集合と下限集合の発生確率をシナリオ上限集合発生確率及びシナリオ下限集合発生確率として求め、このシナリオ上限集合発生確率及びシナリオ下限集合発生確率に基づいて算出することができる。

【0016】前記シナリオ上限集合発生確率（ $P_j(U)$ ）及び前記シナリオ下限集合発生確率（ $P_j(L)$ ）については、下記の各式により求めることができる。

【0017】

【数9】

$$P_j(U) = \sum_{k=1}^N \sum_{I_k} \prod_{i \in I_k} p_i(j) \prod_{m \in I_k} \sum_{l=1}^{j-1} p_m(l)$$

【数10】

$$P_j(L) = \sum_{k=1}^N \sum_{I_k} \prod_{i \in I_k} p_i(j) \prod_{\substack{m \in I_k \\ l=j+1}}^M p_m(l)$$

(前記各式中、 ${}_j I_k$ は(1、2、…、N)からk個を取った数字の組合せから構成される集合(Nは成功イベントの総数)、 ${}_j i_k$ は ${}_j I_k$ に含まれるk個の数字の組合せの任意の要素( ${}_j i_k \in {}_j I_k$ )、 ${}_j \bar{i}_k$ は ${}_j i_k$ 以外の(1、2、…、N)内の数字の組合せを表わす。)

【0019】前記イベントシーケンス(Ies)に対して場合分けの要素からなる集合(Ep1)に属する要素の組合せ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}}$ )毎にリスク(PLL)の上限(U)と下限(L)を下記の各式により求

めることができる。

【0020】

【数11】

$$PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(U) = \sum_{j=1}^M P_j(U) \cdot N_{FT Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(j+1)$$

【0021】

【数12】

$$PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(L) = \sum_{j=1}^M P_j(L) \cdot N_{FT Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(M+1-j)$$

(前記各式中、 $N_{FT Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(j)$ はイベントシーケンスがIesで、Ep1に属している要素がそれぞれ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}}$ )の値をとった場合におけるj番目のシミュレーションでの死者数である。)

【0022】前記各イベントシーケンスのリスクの上限(PLL<sub>Ies</sub>(U))と下限(PLL<sub>Ies</sub>(L))については、下記では、下記の各式により求めることができる。

【0023】

【数13】

$$PLL_{Ies}(U) = \sum_{i_1=1}^{m(1)} \sum_{i_2=1}^{m(2)} \dots \sum_{i_{n_{p1}}=1}^{m(n_{p1})} p_{i_1} p_{i_2} \dots p_{i_{n_{p1}}} \cdot PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(U)$$

【0024】

【数14】

$$PLL_{Ies}(L) = \sum_{i_1=1}^{m(1)} \sum_{i_2=1}^{m(2)} \dots \sum_{i_{n_{p1}}=1}^{m(n_{p1})} p_{i_1} p_{i_2} \dots p_{i_{n_{p1}}} \cdot PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_{p1}})}(L)$$

【0025】前記全体の災害リスクの上限(PLL<sub>ALL</sub>(U))と下限(PLL<sub>ALL</sub>(L))については、下記の各式により求めることができる。

【0026】

【数15】

$$PLL_{ALL}(U) = \sum_{Ies=1}^{N_{es}} p_{Ies} \cdot PLL_{Ies}(U)$$

【0027】(式中、PLL<sub>Ies</sub>(U)はイベントシーケンスがIesのリスクの上限を表わす。)

【0028】

【数16】

$$PLL_{ALL}(L) = \sum_{Ies=1}^{N_{es}} p_{Ies} \cdot PLL_{Ies}(L)$$

【0029】(式中、PLL<sub>Ies</sub>(L)はイベントシ

ーケンスがIesのリスクの下限を表わす。)

【0030】前記災害進展のシミュレーション及び前記避難シミュレーションとしては、要素毎に、最短成功時間から最遅成功時間の間をM等分し、それらの時点を前記最短成功時間から順番付けし、要素の対応する順番の時点(以下、これらの時点境界時間と呼ぶ)で実施することにより達成することができる。

【0031】前記のような本発明によれば、結果に影響を与える各要素に対してイベントツリーを作成し、このイベントツリーから得られたイベントシーケンス毎に災害抑止対策に対する成功時間の確率密度関数を作成する。この成功時間の確率密度関数は、人命損失の推定において、成功/失敗のほか、成功する場合の成功までの時間が加味されることを意味する。成功時間の確率密度関数を採用することによって、シミュレーションを行うべきイベントシーケンスの数が増えるのを防止するため、結果に直接影響を与える要素に対してのみイベントツリーを作成し、間接的に影響を及ぼす要素について

は、成功時間確率密度関数の形にその影響を反映させる。また、「場合分け」のみの要素についてはイベントツリーの外に出す。そして、それらの要素の組合せ毎に確率密度関数に基づいて災害進展のシミュレーション及び避難シミュレーションを実行し、この各シミュレーションの結果を基に各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め、その各々の値から全体の災害リスクの上限と下限を求めることによりリスクを評価する。したがって、結果解析のシミュレーションを実施するための災害進展シナリオの数を削減しながら人命損失の推定確度を向上でき、実用性の高い船舶災害のリスク評価方法を得ることができる。

#### 【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、災害として火災を例にとって図面を参照しながら説明する。火災災害進展シナリオの作成方法の概要について説明すると、通常、リスク評価は、事故が発生してからのET (Event Tree) を作成し、分岐確率の推定、結果として得られるイベントシーケンス（初期事象から最終状態に至る枝の繋がりであり、イベントツリーの最終枝の数だけ存在する）毎の被害の推定（人命損失数の推定）を実施し、各イベントシーケンスの発生確率と被害の程度を推定し、FN (Frequency-Number of fatality) 曲線を作成して行われる。各イベントシーケンスにおける被害の推定は、例えば、原子炉からの放射能漏れが推定される場合、漏れ量、漏れてからの放射能の拡散の推定、それによる人命への影響等の推定がシミュレーションにより行われる。

【0033】一方、船舶の事故においては、主に、船舶の乗員、乗客の生死が問題になる。火災は、避難の速度とほぼ同じ速さで進展するため、僅かなタイミングの違いで死者数が大幅に変化することが予想される。したがって、消火、防火手段の成功／失敗の確率だけでなく、成功までの時間が重要になる。通常のイベントツリー解析においては、分岐部の確率及びその確率の分布関数の推定がなされるが、イベントが成功するまでの時間の推定はなされない。しかし、シミュレーションによる人命損失の推定には、消火、防火の成功／失敗だけでなく、成功する場合の成功までの時間が問題になる。

【0034】そこで、本発明においては、できる限りシミュレーションを実施すべきイベントシーケンスの数を減らし、煙流動のシミュレーションを実施可能にするため、イベントツリーを火災災害対処の主要なイベント、即ち、火災検知、初期消火、スプリンクラ消火、防火扉閉鎖、及び消火栓消火からなるイベントから構成し、他の細かなイベントの影響は、それらの主要なイベントの成功時間の確率密度関数の形で反映させることによりイベントツリーを開発した。これにより、火災災害対処の全体的なイベントツリー (GET: Generic Event Tree) が構成される。

【0035】また、排煙ファン等は、火災災害のイベントとは独立に動作するため、各イベントシーケンスにおける火災シミュレーションの際に、その影響をモデル化して組み込むことにする。また、従来において、イベントツリーを大きくしてしまう要因の1つは、「場合分け」（出火場所、乗客・乗員の初期位置）をツリーの中に入れ込むことである。そこで、本発明においては、ツリーの大きさを適当なものにするため、どのイベントシーケンスにも同様に影響を与える「場合分け」は、ツリーの外に出し、結果解析の際に考慮することにした。これにより、災害進展シナリオの数を削減できるようになる。

【0036】図1は、全体的なイベントツリー (GET) の内容を示す説明図である。図1は、大別して、「場合分け」、「ツリー部」、及び「成功時間確率密度関数」からなる。ツリー部は、火災時に生じる一連の流れ、つまり、出火から煙探知→初期消化→スプリンクラ稼働→防火扉閉鎖→消火栓消化の流れの中で、各過程（イベント）における成功又は失敗に応じて分岐する工程がツリー構造で示されている。最終イベントの「成功」と「失敗」及び途中イベントまでの「成功」に対してシーケンス0～6の7つのシーケンスを設定する。そして、各シーケンスに対し、成功時間確率密度関数（図中の $p_0 \sim p_4$ ）を求め、これを基に、イベントが成功するまでの時間を推定する。以下に、前記のようにして作成されたイベントツリーの各イベントシーケンス毎に実施すべき煙流動シミュレーション、及びそれらのシミュレーション結果に対応する火災災害イベントシーケンスの発生確率を推定する方法について説明する。

【0037】まず、シナリオの致命度の順序関係を利用する方法について説明する。図2は、各イベントのイベント内グループにおける最短成功時間 ( $T_{iE}$ ) から最遅成功時間 ( $T_{iL}$ ) に至る正規分布の確率密度関数である。ここでは、どのイベントも成功時間が遅ければ遅いほど被害が増大すると仮定している。各イベント内の成功時間を幾つかに分割して得られる小区間をイベント内グループとし、各イベントからイベント内グループを1つずつ取り出し、これらから構成される組み合わせ（＝シナリオグループ: scenario group）を作ると、シナリオグループ間で成功の程度の順序、すなわち人命損失数の上限、下限の順序が得られる。

【0038】図3は、イベント内グループと成功イベントの関係を示す説明図である。成功する全てのイベントをM個のイベント内グループに分割した場合、各イベントにおいて全てのイベント内グループが $j=5$ であるシナリオグループの上限（太い黒枠で囲まれている部分）は、一部が「5」で、残りはそれ未満のシナリオグループの上限より大きい。したがって、イベント内グループが全てnであるシナリオグループの上限は、一部がnでそれ以外がn未満であるシナリオグループの上限とする



ことができる。同様に、イベント内グループが全て  $n$  であるシナリオグループの下限は、一部が  $n$  でそれ以外が  $n$  より大きいシナリオグループの下限とすることができる。全て  $n$  であるシナリオグループを代表シナリオグループと呼び、代表シナリオグループが上限となるシナリオグループの集合をシナリオグループ上限集合と呼び、下限となるシナリオグループの集合をシナリオグループ下限集合と呼ぶこととする。代表シナリオグループの数は  $M$  個、即ちイベントの分割数分が存在する。以上より、代表シナリオグループの最早時間、最遅時間でシミュレーションして得られた人命損失数に、後述する方法で得られる上限集合、下限集合の発生確率を乗じることにより、イベントシーケンスのリスクを求めることができる。

【0039】次に、イベントの成功時間の前後により結果が影響される場合について説明する。防火扉閉鎖より後に閉鎖された防火区画内の乗客が非難を開始する場合には、それらの避難者が各居室から通路に移動すると煙に巻かれて動けなくなってしまう。このように、手順前後により結果が大幅に異なる場合には、イベントの成功時間が遅ければ遅いほど人命損失数が多くなるという仮定は成り立たない。このような場合には、こうしたことが生じるイベントの組合せを取り上げ、成功時間の前後により、場合を2つに分けてリスクを求めることにな

$$h(t) = \int_{y=0}^{\infty} f(y+t)g(y)dy \quad \cdots(1)$$

【0043】 $h(t)$  で  $t \geq 0$  である領域を、発生確率がほぼ同等になるように境界時間  $t_s$ 、 $t_{sm}$ 、 $t_{ml}$ 、 $t_l$  を決め (図4参照)、 $t$  がそれらの値になるような  $y$  の確率密度関数を求めてそれらの最大値を  $y_s$ 、 $y_{sm}$ 、 $y_{ml}$ 、 $y_l$  とする。また、 $x_s = y_s + t_s$ 、 $x_{sm} = y_{sm} + t_{sm}$ 、 $x_{ml} = y_{ml} + t_{ml}$ 、 $x_l = y_l + t_l$  として、それらの  $y$  および  $x$  の値で、防火扉閉鎖成功時間が避難開始時間より早い場合のシミュレーションを実行する (図5(a)～(d)参照)。また、避難開始時間が防火扉閉鎖成功時間より早い場合には、遅ければ遅いほど人命損失数が多くなるとの仮定が成り立つものとし、 $x_E$ 、 $x_{EM}$ 、 $x_{ML}$ 、 $x_L$  および  $y_E$ 、 $y_{EM}$ 、 $y_{ML}$ 、 $y_L$  を求める (図6(a)、(b)参照)。なお、この場合の2つのイベントグループの発生確率の合計は  $x < y$  の場合の確率であり、その比は  $x_E$ 、 $y_E$  等を求めた際の  $E$ 、 $M$ 、 $L$  の確率と同じとする。

【0044】発生の確率を求める際の簡便さのため、前後関係により結果の違いが予想される2つのイベントグループの、それらの成功時間の差の正負で2つのイベントグループの合成された確率密度関数を2つの部分に分け、それらの部分の確率を  $p_1$  および  $p_2$  ( $p_1 + p_2$

る。説明を簡単にするため、手順前後により人命損失数が異なるイベントが2つだけ存在する (避難と防火扉閉鎖) と仮定して、この場合のリスクの導出方法について説明する。

【0040】火災の全体的なイベントツリー (GET) では、消火、防火扉の閉鎖等のイベントの順序は予め考慮されているため、このような問題は存在しない。こうした問題は、独立に生じると考えることのできるイベント間に存在する。実際には当然のこととして防火区画内の乗客および乗員がその区画からすべて退去していることを確認した後に防火扉を閉鎖すると考えられる。しかし、防火区画内が煙で充満し、かつ、居室内の乗客が熟睡している、あるいは既に煙で動けなくなっている場合には、確認に時間を費やすことが延焼防止の妨げとなってしまうことが考えられるため、乗客等の退去の確認を待たずに防火扉の閉鎖を行ってしまうような状況も発生し得ると考え、そうしたことが生じないような対策を検討する必要がある。

【0041】避難開始時間の確率密度関数を  $f(x)$ 、防火扉閉鎖成功の確率密度関数を  $g(y)$  とし、 $x = y + t$  ( $t > 0$ ) である  $t$  の確率密度関数を  $h(t)$  とすると、 $h(t)$  は次の式 (1) のように求められる。

【0042】

【数17】

$= 1$ ) とし、それぞれの部分の分割を他の部分の分割と同様の比で行う。

【0045】次に、本実施形態における達成手順について説明する。ここでは、船舶の居室火災に対するリスクの算定を例にしている。

(1) 煙感知成功時点からの各イベントシーケンス中の消火及び防火イベントの最早成功時間、最遅成功時間、成功確率の専門家から聴取し、それらの成功時間確率密度関数を作成する。

(2) 煙感知成功時間の確率密度関数を作成する。

(3) 前記 (1) 及び (2) より得られた各イベントのイベント内各グループの境界時間 ( $T_{iE}$  (最短成功時間)、 $T_{iEM}$  (中短成功時間)、 $T_{iML}$  (中遅成功時間)、 $T_{iL}$  (最遅成功時間)) と発生確率 ( $P_{iE}$ 、 $P_{iM}$ 、 $P_{iL}$ ) を求める。

(4) 避難者の分類毎に、避難開始時間の確率密度関数及びイベント内グループの発生確率、境界時間を求める。

(5) 避難開始時間が防火扉閉鎖成功時間より遅れる可能性があれば、それら2つのイベントで、(i) 避難開始時間が防火扉成功時間より遅くなる場合の2つのイベントの成功時間の差の確率密度関数と、(ii) 防火扉閉

鎖成功時間の方が遅くならない場合の防火扉閉鎖成功時間の確率密度関数を作成し、それら2つのイベントにおけるシミュレーションにおいて使用する  $T_{iE}$  等の時点を決める。

(6) 避難者の初期分布を  $n$  通り求め、それらの発生確率を求める。

(7) 避難者の初期分布毎に、死者数及びシナリオグループ確率を組合わせ、避難シミュレーション及び煙流動シミュレーションを実行する（なお、煙流動シミュレーションの実施の際には、火源の発熱量曲線をイベントシーケンス毎に決定することになる。）。

(8) 前記(7)のシミュレーションで得られた結果より、各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め、その各々の値から全体の火災リスクの上限と下限を求める。この上下限により、或る幅をもってリスクを評価することが可能になり、全体の処理量を軽減できる。

【0046】図7は、本発明による災害のリスク評価方法を示すフローチャートである。ここには、前記(1)～(8)の手順に基づいて作成されたフローチャートが示されている。図中、Sはステップを意味している。

【0047】まず、考慮対象の災害において、成功/失敗で結果が他の要素の成功/失敗に影響を与える要素を選び出し、それらの要素からなる集合を  $E_{dp}$  と記す (S101)。この  $E_{dp}$  に属する要素は、船舶の居室火災の場合、前記したように、煙探知、初期消火（消火器による消火）、スプリンクラ稼動による消火、防火扉閉鎖、消火栓消火である。次に、 $E_{dp}$  に属する要素からイベントツリーを作成する。このとき、 $E_{pl}$  に属す

る要素をツリーの外に出して図1のように1つの表にする (S102)。さらに、分岐部にFT (Fault Tree) を定義してそれを定量化する、専門家の意見を求める、等の方法によって、S102で得られたイベントツリーの分岐確率を推定する (S103)。

【0048】次に、S102で得られたイベントツリーから得られるイベントシーケンス毎に、成功の要素の成功時間の確率密度関数を求めるために、最短成功時間 ( $T_{iE}$ )、最遅成功時間 ( $T_{iL}$ ) を専門家から聴取する (S104)。そして、 $T_{iE}$  を  $-3\sigma$ 、 $T_{iL}$  を  $+3\sigma$  とする正規分布の確率密度関数を作成し、これをその要素 ( $i$ ) の成功時間確率密度関数とする (S105)。

【0049】次に、要素毎に、 $T_{iE}$  から  $T_{iL}$  の間を  $M$  等分し、それらの時点を  $T_{i1}$  から順番付けし、 $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$ , ...,  $T_{i(M+1)}$  とする。手順前後が関係する要素がある場合には、それらの成功時間確率密度関数を合成し、手順前後になる場合と、そうでない場合とに分け、それぞれの部分で  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$ , ...,  $T_{i(M+1)}$  を決定する (S106)。次いで、要素の対応する順番の時点で災害進展および避難シミュレーションを実施する (S107)。この結果、イベントシーケンスの数が  $N_{es}$  ( $E_{dp}$  に属する要素より構成されるイベントシーケンスの総数) の場合には、シミュレーションの総数は  $N_{all}$  (災害進展及び避難シミュレーションの数であり、次の式(2)により示される) となる。

【0050】

【数18】

$$N_{all} = N_{es} \cdot (M + 1) \prod_{j=1, N_{pl}} m(j) \quad \cdots(2)$$

【0051】(式(2)において、 $M$ は成功要素の成功時間の分割数、 $m(j)$ は要素  $E_{pl}$  に属する要素 ( $j$ ) の取りうる場合の数である。)

【0052】次に、イベントシーケンス毎のシミュレーションから得られた人命損失数をそれぞれ上限および下限とする  $M$  等分した小区間の組合せの集合 (シナリオグループ上限集合、シナリオグループ下限集合) の発生確率 (シナリオ上限集合発生確率  $P_j(U)$  及びシナリオ

下限集合発生確率  $P_j(L)$ ) を次の式(3)、(4)から求める (S108)。前記シミュレーションは、境界時間、すなわち、 $M$  個のシナリオグループ上限集合の上限値 (最遅時間) のみと、シナリオグループ下限集合の下限値 (最早時間) のみで実行すればよい。

【0053】

【数19】

$$P_j(U) = \sum_{k=1}^N \sum_{N_{I_k}} \prod_{i \in N_{I_k}} p_i(j) \prod_{m \in N_{I_k}} \sum_{l=1}^{j-1} p_m(l) \quad \cdots(3)$$

【0054】

【数20】

$$P_j(L) = \sum_{k=1}^N \sum_{I_k} \prod_{i \in I_k} p_i(j) \prod_{m \in I_k} \sum_{l=j+1}^M p_m(l) \quad \cdots(4)$$

(式(3)及び式(4)において、 ${}_j I_k$ は、(1, 2, ..., N) から k 個を取った数字の組合せから構成される集合 (N は成功イベントの総数) であり、 ${}_j I_k$  は、 ${}_j I_k$  に含まれる k 個の数字の組合せの任意の要素 ( ${}_j i_k \in {}_j I_k$ ) である。また、 ${}_j i_k$  は、 ${}_j i_k$  以外の (1, 2, ..., N) 内の数の組合せである。)

【0055】次いで、イベントシーケンスが Ies (イベントシーケンスの識別番号) で、イベントシーケンス毎の Epl に属する要素がそれぞれ、 $i_j$  ( $j=1, n$  の場合のリスク (PLL) の上限と下限を次の式 (5) 及び式 (6) により求める (S109)。

【0056】  
【数21】

$$PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(U) = \sum_{j=1}^M P_j(U) \cdot N_{FTIes(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(j+1) \cdots (5)$$

【0057】

【数22】

$$PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(L) = \sum_{j=1}^M P_j(L) \cdot N_{FTIes(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(M+1-j) \cdots (6)$$

(式(5)、(6)において、 $N_{FTIes(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(j)$  はイベントシーケンスが Ies で、Epl に属している要素がそれぞれ ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_p}$ ) の値をとった場合における j 番目のシミュレーションでの死者数である。)

【0058】次に、イベントシーケンス (Ies) のリスク (PLL) の上限  $PLL_{Ies}(U)$  と下限  $PLL_{Ies}(L)$  を次の式 (7) 及び式 (8) により求める (S110)。

【0059】  
【数23】

$$PLL_{Ies}(U) = \sum_{i_1=1}^{m(1)} \sum_{i_2=1}^{m(2)} \cdots \sum_{i_{n_p}=1}^{m(n_p)} p_{i_1} p_{i_2} \cdots p_{i_{n_p}} \cdot PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(U) \quad \cdots(7)$$

(式(7)において、 $PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(U)$  はイベントシーケンスが Ies で、Epl に属している要素がそれぞれ ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_p}$ ) の値をとった場合のリスク (PLL) の上限を表わす。)

【0060】

【数24】

$$PLL_{Ies}(L) = \sum_{i_1=1}^{m(1)} \sum_{i_2=1}^{m(2)} \cdots \sum_{i_{n_p}=1}^{m(n_p)} p_{i_1} p_{i_2} \cdots p_{i_{n_p}} \cdot PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(L) \quad \cdots(8)$$

(式(8)において、 $PLL_{Ies(i_1, i_2, \dots, i_{n_p})}(L)$  はイベントシーケンスが Ies で、Epl に属している要素がそれぞれ ( $i_1, i_2, \dots, i_{n_p}$ ) の値をとった場合のリスク (PLL) の下限を表わす。)

【0061】次に、全体のリスク (PLL) の上限  $PLL_{ALL}(U)$  と下限  $PLL_{ALL}(L)$  を次の式 (9) 及び次の式 (10) により求める (S110)。

【0062】  
【数25】

$$PLL_{ALL}(U) = \sum_{Ies=1}^{N_{es}} P_{Ies} \cdot PLL_{Ies}(U) \quad \cdots(9)$$

【0063】(式(9)において、 $PLL_{ALL}(U)$  はイベントシーケンスが Ies のリスクの上限を表わす。)

【0064】  
【数26】

$$PLL_{ALL}(L) = \sum_{ies=1}^{N_{ies}} P_{ies} \cdot PLL_{ies}(L) \quad \cdots(10)$$

【0065】(式(10))において、 $PLL_{ies}(L)$ はイベントシーケンスが $I_{ies}$ のリスクの下限を表す。)。

【0066】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。図8に示すように、A、B、C、D、E、Fの各デッキを備えたとともに、次の(表2)に示す条件を備えた船舶を想定した。そして、まず、前記船舶について専門家の意見に基づき、図9に示すようなイベントツリー、各分岐における成功時間の確率密度関数(各イベントにおける最早成功時間、最遅成功時間を、分布を正規分布と仮定して、 $\pm 3\sigma$ の値とする)を得た。

【0067】

【表2】

(表2)

全長	90.00m
垂線間長	83.00m
幅	13.40m
深さ	6.30m
計画満載喫水	4.00m
排水量	2,293トン
GM,KG	0.912m, 8.15m
風圧側面積	約960m <sup>2</sup>
風圧側面積中心	水面上約5m
旅客定員	80名
乗組員	40名
資格	第1種船 国際航海

$$t = 5.72r^2 + 31.2 + \epsilon$$

$$\mu(\epsilon) = 0.0$$

$$\sigma(\epsilon) = 24.7$$

…(11)

【0070】前記式(11)において、 $t$ は出火から煙感知器作動までの時間、 $r$ は火源から煙感知器までの水平方向の距離、 $\epsilon$ は偏差(正規分布と仮定する)である。

【0071】次に、各イベントシーケンスにおける各イベントの境界時間、発生確率を推定した。ここで、各イベントシーケンスにおける各イベントの成功時間は、煙

$$T_{ig} = T_{igs} + T_{se}$$

【0073】このようにして、各イベントの $T_{ie}$ 、 $T_{iem}$ 、 $T_{iml}$ 、 $T_{il}$ を求めることができる。また、 $P_{ie}$ 、 $P_{im}$ 、 $P_{il}$ は、適当に決定する。ここでは、 $P_{ie} = 0.3$ 、 $P_{im} = 0.4$ 、 $P_{il} = 0.3$ 、 $T_{ie}$ 、 $T_{il}$ はそれぞれ片側0.5%の時間とす

【0068】次に、煙感知機を中心からの水平方向の火元までの距離と作動時間との関係を下記の式(11)のように2次式でモデル化し、火災室の中心に煙感知機が設置してあると仮定して、火災室の煙感知機が作動する時間の確率密度関数を求めると、図10に示すようになった。

【0069】

感知器作動からの時間( $T_{se}$ )であるので、出火時点から各イベントシーケンスにおける各イベントの成功までの時間( $T_{ig}$ )は、出火から煙感知器作動までの時間( $T_{igs}$ )を加えなければならない。よって、次式(12)のようになる。

【0072】

…(12)

ると、イベントシーケンス毎の各イベントの $T_{ie}$ 、 $T_{iem}$ 、 $T_{iml}$ 、 $T_{il}$ は次の(表3)～(表7)に示すようになった。

【0074】

【表3】

(表 3)

シーケンス 2 (スプリンクラ成功)

初期配置	境界時間記号	煙感知機作動時間 ( $T_{SMK}$ :秒)	火災室避難		その他避難		防火扉閉鎖		消火栓消火		人命損失数
			$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	
A	TE	0	11	11	167	167					0
	TEM	38	18	56	177	215					3
	TML	70	22	92	183	253					3
	TL	133	28	161	193	326					1
B	TE	0	11	11	167	167					0
	TEM	38	18	56	177	215					3
	TML	70	22	92	183	253					3
	TL	133	28	161	193	326					2

【0075】

【表 4】

(表 4)

シーケンス 3 (防火扉閉鎖成功-消火栓消火成功)

初期配置	境界時間記号	煙感知機作動時間 ( $T_{SMK}$ :秒)	火災室避難		その他避難		防火扉閉鎖		消火栓消火		人命損失数
			$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 ( $T$ :秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	
A	TE( $T_s$ )	0	11	11	190	190	190	190	190	190	0 *
	TEM( $T_{sm}$ )	38	18	56	190	228	188	226	194	232	10 *
	TML( $T_{ml}$ )	70	22	92	192	262	187	257	196	266	9 *
	TL( $T_l$ )	133	28	161	200	333	188	321	200	333	20 *
A	TE	0	11	11	166	166	177	177	190	190	0 *
	TEM	38	18	56	176	214	184	222	194	232	8 *
	TML	70	22	92	181	251	187	257	196	266	9 *
	TL	133	28	161	188	321	194	327	200	333	20 *
B	TE( $T_s$ )	0	11	11	190	190	190	190	190	190	0 *
	TEM( $T_{sm}$ )	38	18	56	190	228	188	226	194	232	13 *
	TML( $T_{ml}$ )	70	22	92	192	262	187	257	196	266	9 *
	TL( $T_l$ )	133	28	161	200	333	188	321	200	333	16 *
B	TE	0	11	11	166	166	177	177	190	190	0 *
	TEM	38	18	56	176	214	184	222	194	232	10 *
	TML	70	22	92	181	251	187	257	196	266	10 *
	TL	133	28	161	188	321	194	327	200	333	23 *

\* : 煙流動シミュレーションが途中で発散し、その後は、正しく計算された最後の時点の値をそのまま用いた。

【0076】

【表 5】

(表5)

シーケンス4 (防火扉閉鎖成功-消火栓消火失敗)

初期 配置	境界 時間 記号	煙感知機 作動時間 (T <sub>SMK</sub> :秒)	火災室避難		その他避難		防火扉閉鎖		消火栓消火		人 命 損 失 数
			T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	
A	TE(Te)	0	11	11	190	190	190	190			0 *
	TEM(Ten)	38	18	56	190	228	188	226			10
	TML(Tml)	70	22	92	192	262	187	257			9 *
	TL(Tl)	133	28	161	200	333	188	321			23 *
A	TE	0	11	11	166	166	177	177			0
	TEM	38	18	56	176	214	184	222			10
	TML	70	22	92	181	251	187	257			10 *
	TL	133	28	161	188	321	194	327			11 *
B	TE(Te)	0	11	11	190	190	190	190			0 *
	TEM(Ten)	38	18	56	190	228	188	226			12
	TML(Tml)	70	22	92	192	262	187	257			9 *
	TL(Tl)	133	28	161	200	333	188	321			13 *
B	TE	0	11	11	166	166	177	177			0
	TEM	38	18	56	176	214	184	222			13
	TML	70	22	92	181	251	187	257			10 *
	TL	133	28	161	188	321	194	327			13

\* : 煙流動シミュレーションが途中で発散し、その後は、正しく計算された最後の時点の値をそのまま用いた。

【0077】

【表6】

(表6)

シーケンス5 (防火扉閉鎖失敗-消火栓消火成功)

初期 配置	境界 時間 記号	煙感知機 作動時間 (T <sub>SMK</sub> :秒)	火災室避難		その他避難		防火扉閉鎖		消火栓消火		人 命 損 失 数
			T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	T <sub>SMK</sub> からの 時間 (T:秒)	出 火 からの 時間 (T <sub>SMK</sub> + T:秒)	
A	TE	0	11	11	167	167			190	190	0
	TEM	38	18	56	177	215			194	232	15
	TML	70	22	92	183	253			196	266	11
	TL	133	28	161	193	326			200	333	18
B	TE	0	11	11	167	167			190	190	0
	TEM	38	18	56	177	215			194	232	18
	TML	70	22	92	183	253			196	266	11
	TL	133	28	161	193	326			200	333	23

【0078】

【表7】

(表7)  
シーケンス6 (防火、消火手段すべて失敗)

初期配置	境界時間記号	煙感知機作動時間 ( $T_{SMK}$ :秒)	火災室避難		その他避難		防火扉閉鎖		消火栓消火		人命損失数
			$T_{SMK}$ からの時間 (T:秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 (T:秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 (T:秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	$T_{SMK}$ からの時間 (T:秒)	出火からの時間 ( $T_{SMK} + T$ :秒)	
A	TE	0	11	11	167	167					0 *
	TEM	38	18	56	177	215					15 *
	TML	70	22	92	183	253					11 *
	TL	133	28	161	193	326					11 *
B	TE	0	11	11	167	167					0 *
	TEM	38	18	56	177	215					18 *
	TML	70	22	92	183	253					11 *
	TL	133	28	161	193	326					13 *

\* : 煙流動シミュレーションが途中で発散し、その後は、正しく計算された最後の時点の値をそのまま用いた。

【0079】次に、避難開始の確率密度関数、防火扉閉鎖の順序が逆転する場合を考慮するため、それぞれのイベントの確率密度関数を用いて、それらの差の正負によって、前記の方法で、シミュレーションすべき避難及び防火扉閉鎖時間を求めた。

【0080】次に、避難者の初期分布を求め(2通り)、それらの発生確率を求めた。ここで、乗員、乗客の初期分布として、試算対象船舶におけるCデッキのダイニングルームが満席になる食事時(計3時間)、及び大半が居室にいる場合(残り21時間)の2通りに分けた。

【0081】次に、避難者の初期分布毎に、E-E、E-M-E-M、M-L-M-L、L-Lの組合せで、避難、煙流動シミュレーションを実施した(図9参照)。得られた結果より、各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め、それから、全体の火災リスクの上限と下限を求めた。その結果を次の(表8)に示す。ただし、幾つかの煙流動シミュレーションでは、ある時刻以降発散しており、その場合、発散直前の煙濃度の分布がそれ以降継続するとして、非難シミュレーションを実施した。

【0082】その後、前記(表3)～(表7)及び前記日本造船学会論文集、Vol. 186(6-3)「船舶

の確率論的安全評価手法」にある火災災害発生確率、居室火災発生確率を求めるための調整値を得て前記試算対象船舶のリスクの下限、上限を求めることができた。リスクの計算過程も含めて下記の(表8)にそれらを示す。

【0083】なお、 $P_{ACD}$ は事故(ACD)の発生確率、 $p_{f-Ies}(j)$ は識別番号がIesのEdpに属していて、それらのうちのj番目の要素の失敗確率 $p_{f-Ies}(j) = 1 - p_{s-Ies}(j)$ 、 $N_{f-Ies}$ は識別番号がIesのEdpに属していて、失敗する要素の総数、 $p_{s-Ies}(k)$ は識別番号がIesのEdpに属していて、それらのうちのk番目の要素の成功確率、 $N_{s-Ies}$ は識別番号がIesのEdpに属していて、成功する要素の総数で、 $N_{es} = N_{s-Ies} + N_{f-Ies}$ であり、 $p_{Ies}$ は次式で示すイベントシーケンスIesの発生確率である。

【0084】

【数27】

$$p_{I_{es}} = P_{ACD} \cdot \prod_{j=1, N_{f-Ies}} p_{f-Ies}(j) \cdot \prod_{k=1, N_{s-Ies}} p_{s-Ies}(k)$$

【0085】

【表8】

(表 8)

[illegible]

【0086】船舶事故の災害による人命損失の推定法として、火災、浸水等の災害進展を推定するシミュレーション及びその結果を用いた避難シミュレーションを行う場合、従来においては、ステップ2のリスク評価に際し、膨大な数の災害進展シナリオの全てに対してシミュレーションを実施する必要があるが、本発明によれば、結果に影響を与えない要素に対するシミュレーションの実施を排除し、更に、リスクPLLに上限と下限を設定して評価を行うようにしたため、災害進展シナリオの数を低減でき、その分だけシミュレーションの実行数を減らすことが可能になり、災害進展シミュレーション及び避難シミュレーションの実施を容易にすることが可能になる。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の船舶災害

のリスク評価方法によれば、船舶の安全性を確率論的に評価する際のリスク評価に用いられる船舶災害のリスク評価方法にあって、結果に影響を与える各要素に対してイベントツリーを作成し、このイベントツリーから得られたイベントシーケンス毎に災害抑止対策に対する成功時間の確率密度関数を作成し、成功する場合の成功までの時間が人命損失の推定に反映されるようにし、この成功時間の確率密度関数を採用することによってイベントシーケンスの数が増えるのを防止するため、結果に直接影響を与える要素に対してのみイベントツリーを作成し、間接的に影響を及ぼす要素については、成功時間確率関数の形にその影響を反映させ、また、「場合分け」のみの要素についてはイベントツリーの外に出し、そして、それらの要素の組合せ毎に前記確率密度関数に基づいて災害進展のシミュレーション及び避難シミュレーション



ョンを実行し、この各シミュレーションの結果を基に各イベントシーケンスのリスクの上限と下限を求め、その各々の値から全体の災害リスクの上限と下限を設けることによりリスクを評価するようにしたので、結果解析のシミュレーションを実施するための災害進展シナリオの数を削減しながら人命損失の推定確度を向上でき、実用性の高い船舶災害のリスク評価方法を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る船舶災害のリスク評価方法に用いる全体的なイベントツリー（GET）の内容を示す説明図である。

【図2】同リスク評価方法に用い、イベント内グループにおける最短成功時間（ $T_{iE}$ ）から最遅成功時間（ $T_{iL}$ ）に至る正規分布の確率密度関数を示す特性図である。

【図3】同リスク評価方法に用い、イベント内グループと成功イベントの関係を示す説明図である。

【図4】同リスク評価方法に用い、手順前後で結果が異なるイベントにおける発生確率がほぼ同等になる境界時間と確率密度関数を示す説明図である。

【図5】（a）～（d）は同リスク評価方法に用い、図4をもとに求めた確率密度関数から防火扉閉鎖成功時間が避難開始時間より早い場合のシミュレーション結果を示す説明図である。

【図6】（a）、（b）は同リスク評価方法に用い、避難開始時間が防火扉閉鎖成功時間より早い場合のシミュレーション結果を示す説明図である。

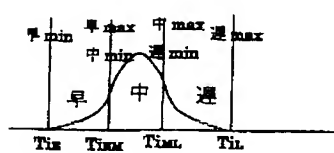
【図7】同リスク評価方法を示すフローチャートである。

【図8】同リスク評価方法の実施例で想定した船舶を示す説明図である。

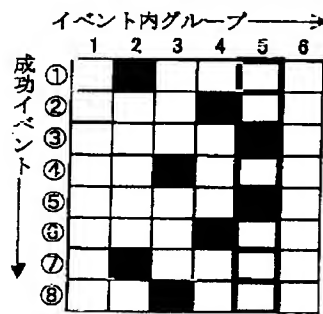
【図9】同実施例に用いるイベントツリー、各分岐における成功時間の確率密度関数を示す説明図である。

【図10】同実施例に用いる煙感知機の作動時間における確率密度関数を示す説明図である。

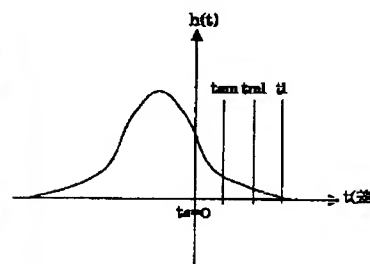
【図2】



【図3】

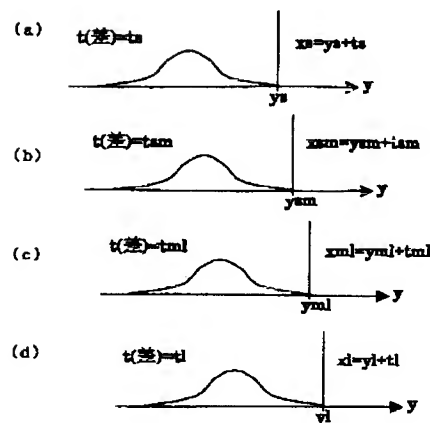


【図4】

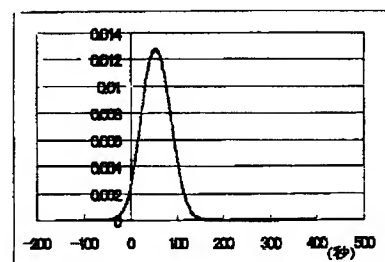
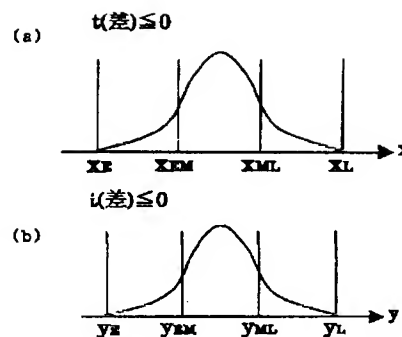


【図10】

【図5】



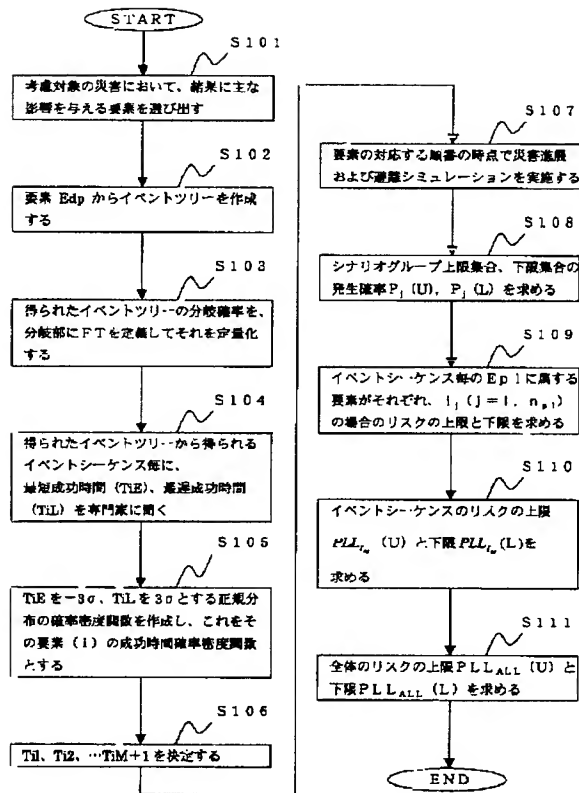
【図6】



シリーズ部						成功時間標準密度関数					
出火	遅延知	初期消火	スブツツ稼動	防火扉閉鎖	落水燈消火	シーク ンスNo.	0	1	2	3	4
	遅延知	初期消火	スブツツ稼動	防火扉閉鎖	落水燈消火		遅延知	初期消火	スブツツ稼動	防火扉閉鎖	落水燈消火
	成功 ( $p_{0e}$ )	成功 ( $p_{1e}$ )	成功 ( $p_{2e}$ )	成功 ( $p_{3e}$ )	成功 ( $p_{4e}$ )	y-7711	$p_0(i)$	$p_1(i)$	/	/	/
	失敗 ( $1-p_{0e}$ )	失敗 ( $1-p_{1e}$ )	失敗 ( $1-p_{2e}$ )	失敗 ( $1-p_{3e}$ )	失敗 ( $1-p_{4e}$ )	y-7712	/	/	$p_2(i o1:P)$	/	/
						y-7713	/	/	/	$p_3(i o1:P,o2:F)$	$p_4(i o1:P,o2:F, o3:S)$
						y-7714	/	/	/	$p_3(i o1:P,o2:F)$	/
						y-7715	/	/	/	/	$p_4(i o1:P,o2:F, o3:F)$
						y-7716	/	/	/	/	/
						y-7717	/	/	/	/	/
						y-7718	/	/	/	/	/
						y-7719	/	/	/	/	/

集合分け	山火場所 乗客・乗 員の初期 位置	通過り 通過り
------	----------------------------	------------

【図7】





出火		1	2	3	4	p1 (初発消火)				p2 (スプリンタラ消火)				p3 (防火扉閉鎖)				p4 (消火栓消火)				イベントシケケンス概略説明			
		初発消火 大成功 標準	スプリ ンタラ 稼働	防火 扉閉 鎖	消火 栓消 火	初発消 火成功 時間(最 速) (秒)	初発消 火成功 時間(最 速) (秒)	スプリ ンタラ 消火成 功時間 (最速) (秒)	スプリ ンタラ 消火成 功時間 (最速) (秒)	スプリ ンタラ 消火成 功時間 (最速) (秒)	スプリ ンタラ 消火成 功時間 (最速) (秒)	防火扉 閉鎖成 功時間 (最速) (秒)	防火扉 閉鎖成 功時間 (最速) (秒)	消火栓 消火成 功時間 (最速) (秒)	消火栓 消火成 功時間 (最速) (秒)	消火栓 消火成 功時間 (最速) (秒)	消火栓 消火成 功時間 (最速) (秒)	消火栓 消火成 功時間 (最速) (秒)							
成功			成功			0.9	5	30	平均: $\sigma$ : 17.5s 4.2s				平均: $\sigma$ : 6.0s 0.33s				平均: $\sigma$ : 186s 1.7s				平均: $\sigma$ : 195s 1.7s				初期消火成功。火災は、火災発生直に鎮定される。
失敗			成功						1	5	7													初期消火失敗。しかし、その後スプリンタラが稼働し、鎮火。	
成功			成功		成功							1	180	190	1	190	200	平均: $\sigma$ : 195s 1.7s		初期消火失敗。スプリンタラ稼働失敗。防火扉は閉鎖成功。その後消火栓消火により鎮火。					
失敗			失敗		失敗															平均: $\sigma$ : 195s 1.7s		初期消火失敗。スプリンタラ稼働失敗。防火扉は閉鎖成功。その後消火栓消火失敗。			
成功			成功		成功										1	190	200	平均: $\sigma$ : 195s 1.7s		初期消火失敗。スプリンタラ稼働失敗。防火扉は閉鎖失敗。その後消火栓消火成功。					
失敗			失敗		失敗															平均: $\sigma$ : 195s 1.7s		初期消火失敗。スプリンタラ稼働失敗。防火扉は閉鎖失敗。その後消火栓消火失敗。			